Tamaño Muestral Variable

¿Por qué varia el tamaño de la muestra?

La producción en turnos diferentes puede ser distinta

Aún cuando la muestra se seleccione de tamaño fijo, algunos artículos se pierden por extravío, contaminación, entre otros.

Tamaño Muestral Variable

¿Qué hacer?

Límites de control para cada muestra

Límites de control usando tamaño de muestra promedio

Límites de control con valores estandarizados

Tamaño Muestral Variable

Límites de control para cada muestra

$$LIC = \overline{P} - 3\sqrt{\frac{\overline{P}\left(1-\overline{P}\right)}{n_i}}$$

$$LC = \overline{P}$$

$$LSC = \overline{P} + 3\sqrt{\frac{\overline{P}\left(1-\overline{P}\right)}{n_i}}$$

Tamaño Muestral Variable

Límites de control para cada muestra

Ejemplo.

Una empresa empacadora de salchichas, desea controlar que en el momento de sellar el empaque, no le quede aire dentro del mismo. Las salchichas en un empaque con aire, en muy corto tiempo cambian de color y pierden frescura, lo cual se traduce en retrabajo, cuando el operador las detecta a tiempo. Cuando salen al mercado empaques de salchichas con esta irregularidad, se producen pérdidas cuando el supermercado devuelve los empaques defectuosos y mala imagen a la empresa cuando se le dañan al consumidor final. El departamento de calidad de la empresa decidió controlar este aspecto del empacado, mediante la implantación de un gráfico para controlar la proporción de paquetes con fallas de vacío. Como la empresa trabaja seis días a la semana en dos turnos, decidió tomar durante una semana, la producción completa de una hora, tomada al azar en cada uno de los turno, recolectando como información, la producción de doce horas en total. En la tabla se encuentran los resultados obtenidos

Límites de Control para cada muestra

Datos…

Muestra	n_i	D_i	$\hat{\sigma}_p$	LIC	LSC
1	80	8	0,197	0,000	0,197
2	100	9			
3	110	12			
4	100	16			
5	90	6			
6	110	20			
7	120	9			
8	110	6			
9	80	10			
10	90	5			
11	100	5			
12	100	10			
	1190	116			

$$\overline{P} = \frac{\sum_{i=1}^{12} D_i}{\sum_{i=1}^{12} n_i} = \frac{116}{1190} = 0{,}097$$

$$\hat{\sigma}_p = \sqrt{\frac{\overline{P}(1-\overline{P})}{n_i}} = \sqrt{\frac{0{,}097(1-0{,}097)}{80}} = 0.033$$

$$LIC = \overline{P} - 3\hat{\sigma}_p = 0{,}097 - 3(0{,}033) = 0$$

$$LSC = \overline{P} + 3\hat{\sigma}_p = 0{,}097 + 3(0{,}033) = 0{,}197$$

Límites de Control para cada muestra

Limites calculados.

Muestra	n_i	D_i	p_i	$\hat{\sigma}_p$	LIC	LSC
1	80	8	0,100	0,033	0,000	0,197
2	100	9	0,090	0,030	0,008	0,186
3	110	12	0,109	0,028	0,013	0,182
4	100	16	0,160	0,030	0,008	0,186
5	90	6	0,067	0,031	0,004	0,191
6	110	20	0,182	0,028	0,013	0,182
7	120	9	0,075	0,027	0,016	0,179
8	110	6	0,055	0,028	0,013	0,182
9	80	10	0,125	0,033	0,000	0,197
10	90	5	0,056	0,031	0,004	0,191
11	100	5	0,050	0,030	0,008	0,186
12	100	10	0,100	0,030	0,008	0,186

Tamaño Muestral Variable

Límites de control usando tamaño de muestra promedio

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^{m} n_i}{m}$$

$$LIC = \bar{P} - 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{\bar{n}}}$$

$$LC = \bar{P}$$

$$LSC = \bar{P} + 3\sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{\bar{n}}}$$

Límites de Control usando tamaño de muestra promedio

Ejemplo…

Muestra	n_i	D_i	$\hat{\sigma}_p$	LIC	LSC
1	80	8	0,030	0,007	0,186
2	100	9			
3	110	12			
4	100	16			
5	90	6			
6	110	20			
7	120	9			
8	110	6			
9	80	10			
10	90	5			
11	100	5			
12	100	10			
	1190	116			

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^{12} n_i}{12} = \frac{1190}{12} = 99{,}25 \approx 99$$

$$\hat{\sigma}_p = \sqrt{\frac{\bar{P}(1-\bar{P})}{\bar{n}}} = \sqrt{\frac{0{,}097(1-0{,}097)}{99}} = 0{,}030$$

$$LIC = \bar{P} - 3\hat{\sigma}_p = 0{,}097 - 3(0{,}030) = 0.007$$

$$LSC = \bar{P} + 3\hat{\sigma}_p = 0{,}097 + 3(0{,}030) = 0{,}186$$

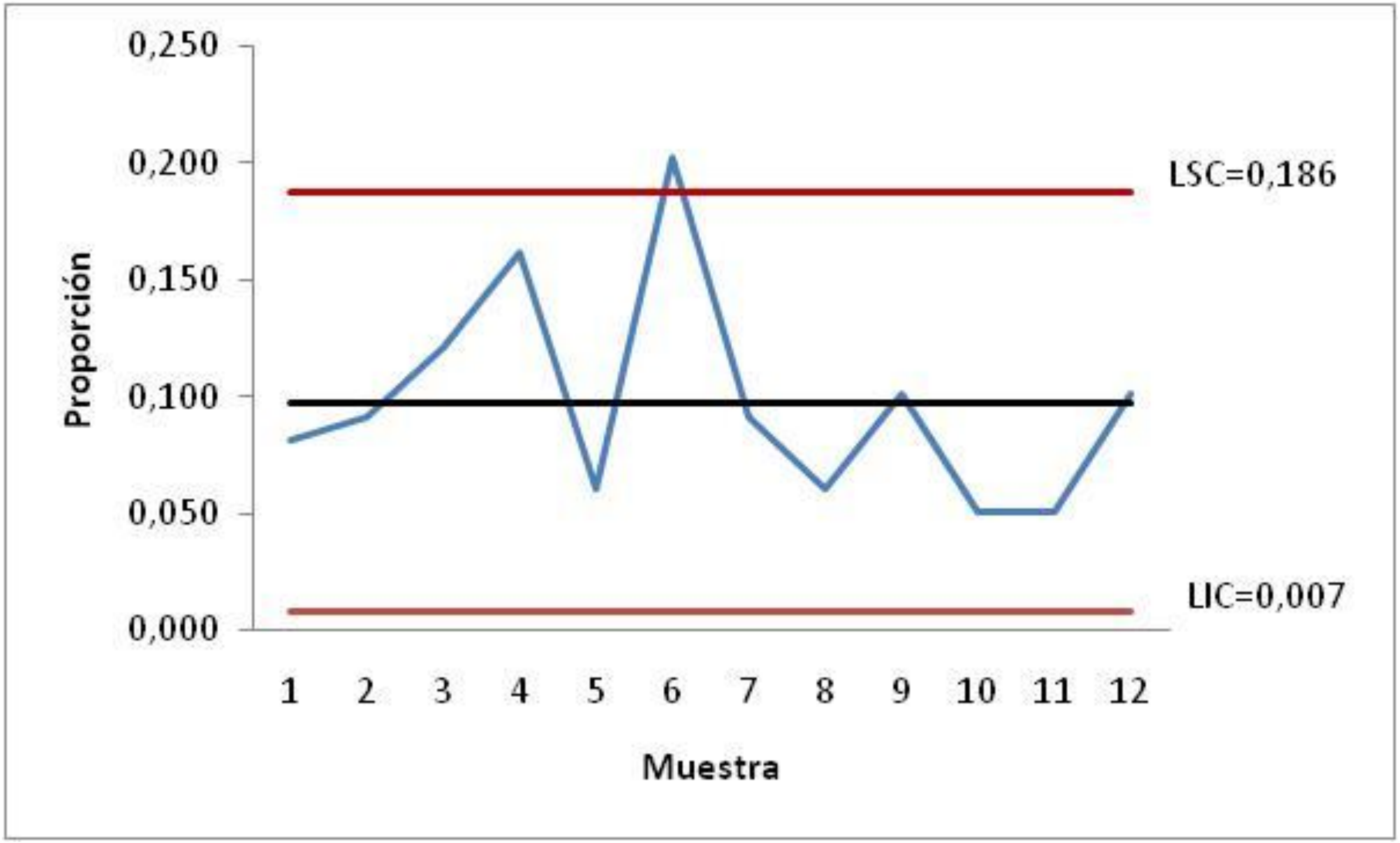
Límites de Control para cada muestra

Limites calculados.

Muestra	n_i	D_i	p_i	$\hat{\sigma}_p$	LIC	LSC
1	99	8	0,081	0,030	0,000	0,187
2	99	9	0,091	0,030	0,008	0,187
3	99	12	0,121	0,030	0,008	0,187
4	99	16	0,162	0,030	0,008	0,187
5	99	6	0,061	0,030	0,008	0,187
6	99	20	0,202	0,030	0,008	0,187
7	99	9	0,091	0,030	0,008	0,187
8	99	6	0,061	0,030	0,008	0,187
9	99	10	0,101	0,030	0,000	0,187
10	99	5	0,051	0,030	0,008	0,187
11	99	5	0,051	0,030	0,008	0,187
12	99	10	0,101	0,030	0,008	0,187

Límites de Control usando tamaño de muestra promedio

Gráfico de Control.



Tamaño Muestral Variable

Límites de control con valores estandarizados

$$LIC = -3$$

$$LC = 0$$

$$LSC = 3$$

Las proporciones muestrales se estandarizan

$$Z_i = \frac{p_i - \bar{P}}{\hat{\sigma}_{p_i}} = \frac{p_i - \bar{P}}{\sqrt{\frac{\bar{P}\left(1-\bar{P}\right)}{n_i}}}$$

Límites de Control con valores estandarizados

Ejemplo…

Muestra	n_i	D_i	p_i	$\hat{\sigma}_{p_i}$	Z_i
1	80	8	0,100	0,033	0,09
2	100	9			
3	110	12			
4	100	16			
5	90	6			
6	110	20			
7	120	9			
8	110	6			
9	80	10			
10	90	5			
11	100	5			
12	100	10			
	1190	116			

$$p_i = \frac{D_i}{n_i} = \frac{8}{80} = 0{,}100$$

$$\hat{\sigma}_{p_1} = \sqrt{\frac{\overline{P}(1-\overline{P})}{n_1}} = \sqrt{\frac{0{,}097(1-0{,}097)}{80}} = 0.033$$

$$Z_1 = \frac{p_1 - \overline{P}}{\hat{\sigma}_{p_1}} = \frac{0{,}100 - 0{,}097}{0{,}033} = 0{,}09$$

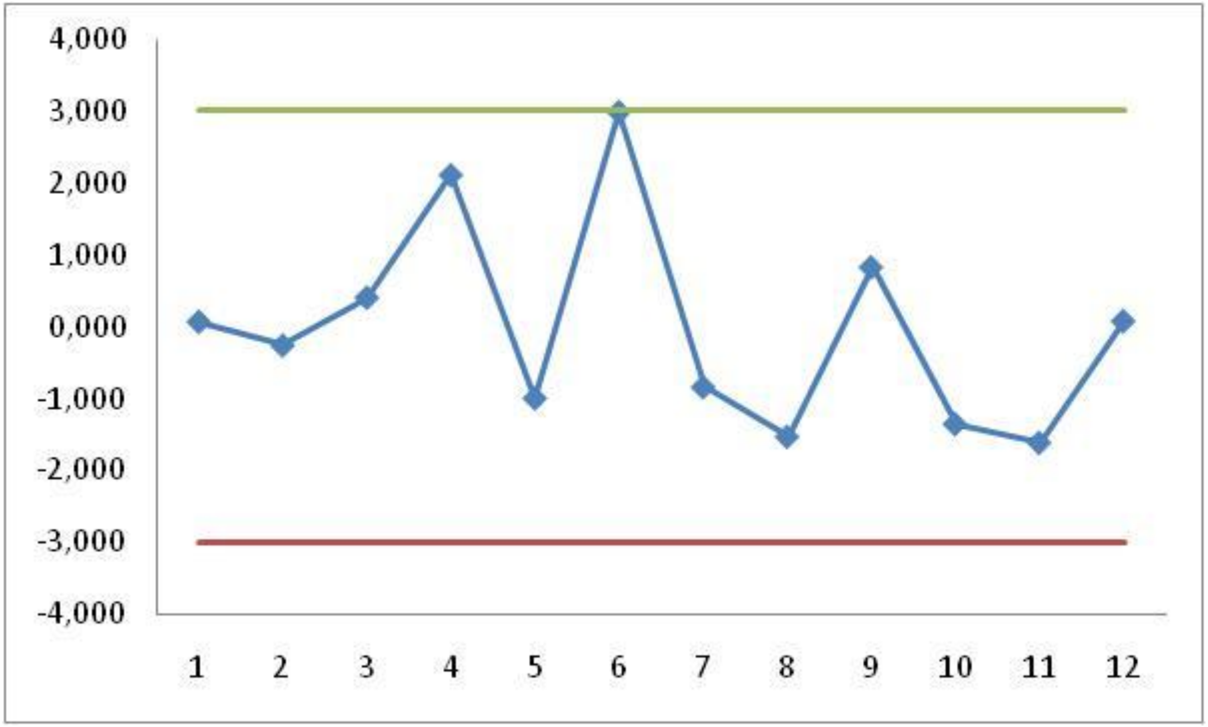
Límites de Control con valores estandarizados

Limites calculados.

Muestra	n_i	D_i	p_i	$\hat{\sigma}_p$	Z_i
1	80	8	0,100	0,033	0,076
2	100	9	0,090	0,030	-0,252
3	110	12	0,109	0,028	0,411
4	100	16	0,160	0,030	2,108
5	90	6	0,067	0,031	-0,986
6	110	20	0,182	0,028	2,982
7	120	9	0,075	0,027	-0,830
8	110	6	0,055	0,028	-1,518
9	80	10	0,125	0,033	0,830
10	90	5	0,056	0,031	-1,341
11	100	5	0,050	0,030	-1,601
12	100	10	0,100	0,030	0,085

Límites de Control con valores estandarizados

Gráfico de Control.



Función Característica de Operación

$$\beta = P(LIC < p < LSC) = P(p < LSC) - P(p \leq LIC)$$

Multiplicando por n

$$\beta = P(np < nLSC) - P(np \leq nLIC)$$

$$\beta = P(D < nLSC) - P(D \leq nLIC)$$

$$D \sim bin(n, P)$$

Función característica de operación.

Ejemplo. Construir la curva característica de operación, para el siguiente gráfico de control

$$LIC = 0{,}065 \quad LSC = 0{,}252 \qquad n = 50$$

$$\beta = P(D < nLSC) - P(D \leq nLIC)$$

$$\beta = P(D < 50(0{,}252)/P) - P(D \leq 50(0{,}065)/P)$$

$$\beta = P(D < 12{,}6/P) - P(D \leq 3{,}25/P)$$

Para P=0,10.

$$\beta = P(D \leq 12 / P = 0{,}10) - P(D \leq 3 / P = 0{,}10)$$

$$= 0.9990 - 0{,}2503 = 0{,}7487$$

P	$P(D \leq 12/P)$	$P(D \leq 3/P)$	$\beta = P(D \leq 12/P) - P(D \leq 3/P)$
0,02	1,0000	0,9822	0,0178
0,04	1,0000	0,8609	0,1391
0,06	1,0000	0,6473	0,3527
0,08	0,9999	0,4253	0,5746
0,1	0,9990	0,2503	0,7487
0,12	0,9949	0,1345	0,8604
0,14	0,9821	0,0670	0,9151
0,16	0,9525	0,0312	0,9213
0,18	0,8978	0,0137	0,8841
0,2	0,8139	0,0057	0,8083
0,22	0,7037	0,0022	0,7015
0,24	0,5767	0,0008	0,5759
0,26	0,4461	0,0003	0,4459
0,28	0,3251	0,0001	0,3250
0,3	0,2229	0,0000	0,2228
0,32	0,1436	0,0000	0,1436
0,34	0,0870	0,0000	0,0870
0,36	0,0495	0,0000	0,0495
0,38	0,0264	0,0000	0,0264
0,4	0,0133	0,0000	0,0133

Función característica de operación.

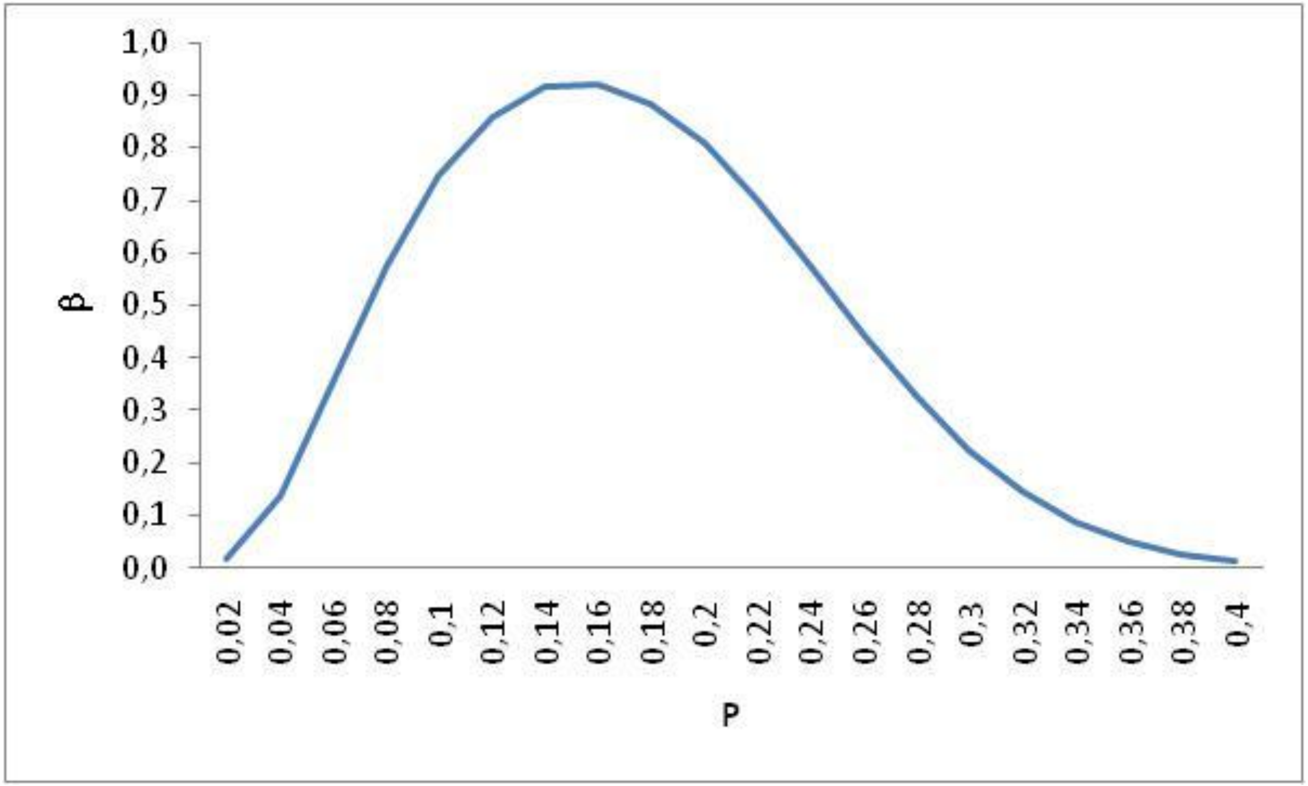


Gráfico de control np

Se usa para controlar el número de artículos defectuosos.

Variable aleatoria

$$D = np$$

Media

$$\mu_D = nP$$

Varianza

$$\sigma_D^2 = nP(1-P)$$

Gráfico de control np

Límites de control

$$LIC = nP - 3\sqrt{nP(1-P)}$$

$$LC = nP$$

$$LSC = nP + 3\sqrt{nP(1-P)}$$

No es recomendable cuando el tamaño de muestra es variable

Si no se conoce P, se estima mediante $\overline{P}$

Gráfico de control np

Ejemplo

Muestra	n	D_i
1	300	15
2	300	12
3	300	15
4	300	7
5	300	16
6	300	6
7	300	22
8	300	10
9	300	9
10	300	15
11	300	9
12	300	4
13	300	7
14	300	9
15	300	5
16	300	15
17	300	24
18	300	7

Muestra	n	D_i
19	300	12
20	300	10
21	300	4
		233

$$\bar{P} = \frac{233}{(300)(21)} = 0{,}03698$$

$$\hat{\sigma}_D = \sqrt{n\bar{P}(1-\bar{P})} = \sqrt{300(0{,}0369)(1-0{,}0369)} = 3{,}2686$$

$$LIC = n\bar{P} - 3\hat{\sigma}_D = 11{,}094 - 3(3{,}2686) = 1{,}2882$$

$$LC = n\bar{P} = 11{,}094$$

$$LSC = n\bar{P} + 3\hat{\sigma}_D = 11{,}094 + 3(3{,}2686) = 20{,}8998$$

Gráfico de control nP

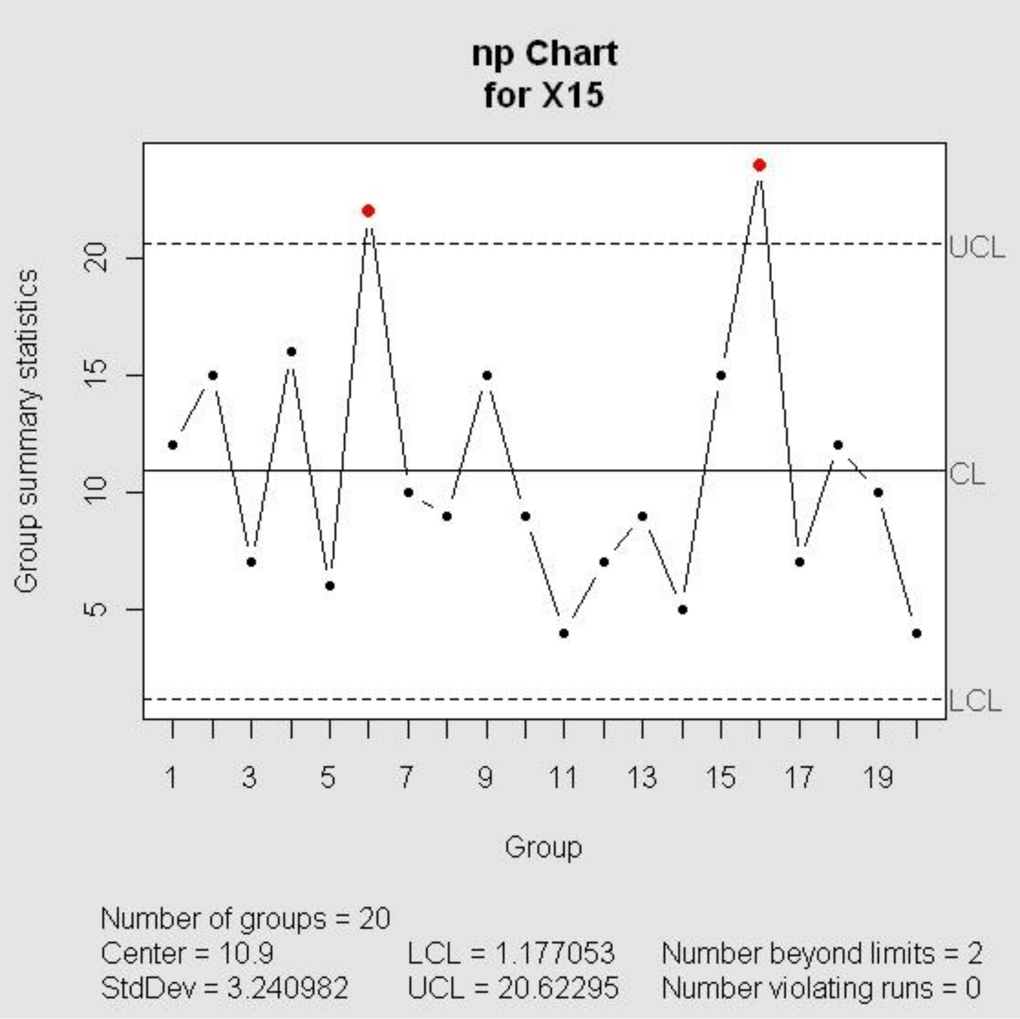


Gráfico de Control.

Gráfico de control C

Se usa para controlar el número de defectos en los artículos.

Gráfico de control np

Límites de control con C conocido

$$LIC = C - 3\sqrt{C}$$
$$LC = C$$
$$LSC = C + 3\sqrt{C}$$

Muestra	d_i
1	d_1
2	d_2
. . .	
m	d_m

$D = \sum_{i=1}^{m} d_i$

Si no se conoce C, se estima

1. Se toman m muestras de una unidad de inspección
2. En cada muestra se cuenta el número de defectos, $d_i, i = 1,\ldots, m$
3. Se calcula el número total de defectos. $D = \sum_{i=1}^{m} d_i$
3. Se estima el valor de C mediante la expresión. $\overline{C} = \dfrac{D}{m}$

Gráfico de control C

Límites de control con C desconocido

$$LIC = \overline{C} - 3\sqrt{\overline{C}}$$

$$LC = \overline{C}$$

$$LSC = \overline{C} + 3\sqrt{\overline{C}}$$

Gráfico de control C

Muestra	d_i
1	4
2	3
3	5
4	1
5	2
6	2
7	2
8	6
9	5
10	2
11	3
12	1
13	2
14	4
15	3
16	5
17	5
18	4

Muestra	d_i
19	3
20	3
	65

Ejemplo

$$D = \sum_{i=1}^{m} d_i = 65$$

$$\overline{C} = \frac{D}{m} = \frac{65}{20} = 3{,}25$$

$$LIC = \overline{C} - 3\sqrt{\overline{C}} = 3{,}25 - 3\sqrt{3{,}25} = 0$$

$$LC = \overline{C} = 3{,}25$$

$$LSC = \overline{C} + 3\sqrt{\overline{C}} = 3{,}25 + 3\sqrt{3{,}25} = 8{,}658$$

Gráfico de control C

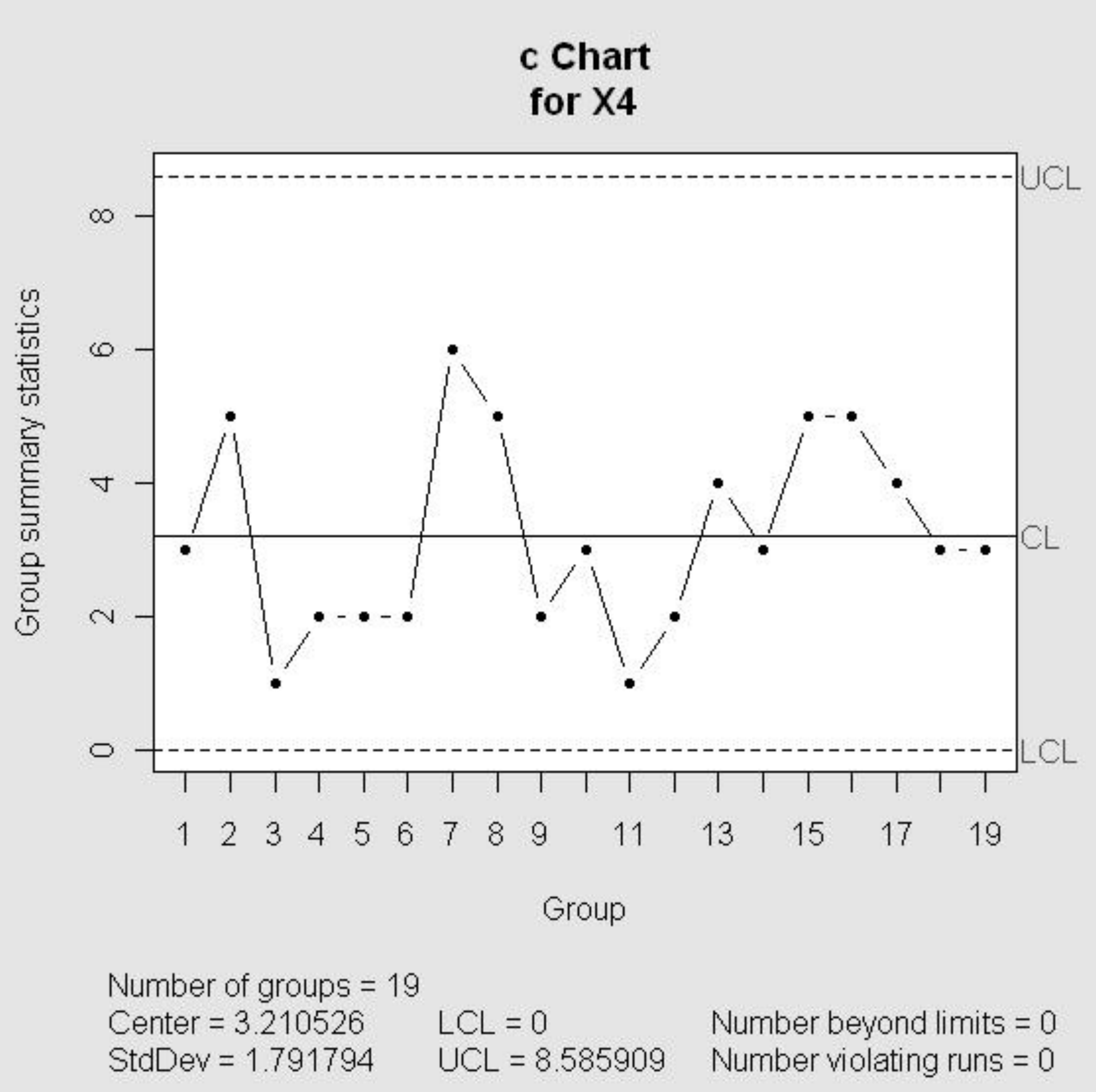


Gráfico de Control.

Función Característica de Operación

Sea X el número de defectos en una unidad de inspección

$$X \sim P(C)$$

$$\beta = P(LIC < X < LSC / C)$$
$$= P(X < LSC / C) - P(X \leq LIC / C)$$

Ejemplo.

Construir la curva característica de operación, para el ejemplo anterior

$$\beta = P(X < LSC / C) - P(X \leq LIC / C)$$
$$= P(X < 8{,}658 / C) - P(X \leq 0 / C)$$
$$= P(X \leq 8 / C) - P(X = 0 / C)$$

Para C=4

$$\beta = P(X \leq 8 / 4) - P(X = 0 / 4)$$
$$= 0{,}9782 - 0{,}0183 = 0{,}9603$$

Función característica de operación.

Ejemplo. Construir la curva característica de operación, para el siguiente gráfico de control

$$LIC = 0{,}065 \quad LSC = 0{,}252 \qquad n = 50$$

$$\beta = P(D < nLSC) - P(D \leq nLIC)$$

$$\beta = P(D < 50(0{,}252)/P) - P(D \leq 50(0{,}065)/P)$$

$$\beta = P(D < 12{,}6/P) - P(D \leq 3{,}25/P)$$

Para P=0,10.

$$\beta = P(D \leq 12/P = 0{,}10) - P(D \leq 3/P = 0{,}10)$$

$$= 0.9990 - 0{,}2503 = 0{,}7487$$

C	$P(X \le 8/C)$	$P(X = 0/C)$	$\beta = P(X \le 8/C) - P(X = 0/C)$
0,2	1,0000	0,8187	0,1813
0,4	1,0000	0,6703	0,3297
0,6	1,0000	0,5488	0,4512
1	1,0000	0,3679	0,6321
2	0,9998	0,1353	0,8644
3	0,9962	0,0498	0,9464
4	0,9786	0,0183	0,9603
5	0,9319	0,0067	0,9252
6	0,8472	0,0025	0,8448
7	0,7291	0,0009	0,7282
8	0,5925	0,0003	0,5922
9	0,4557	0,0001	0,4555
10	0,3328	0,0000	0,3328
11	0,2320	0,0000	0,2320
12	0,1550	0,0000	0,1550

Función característica de operación.

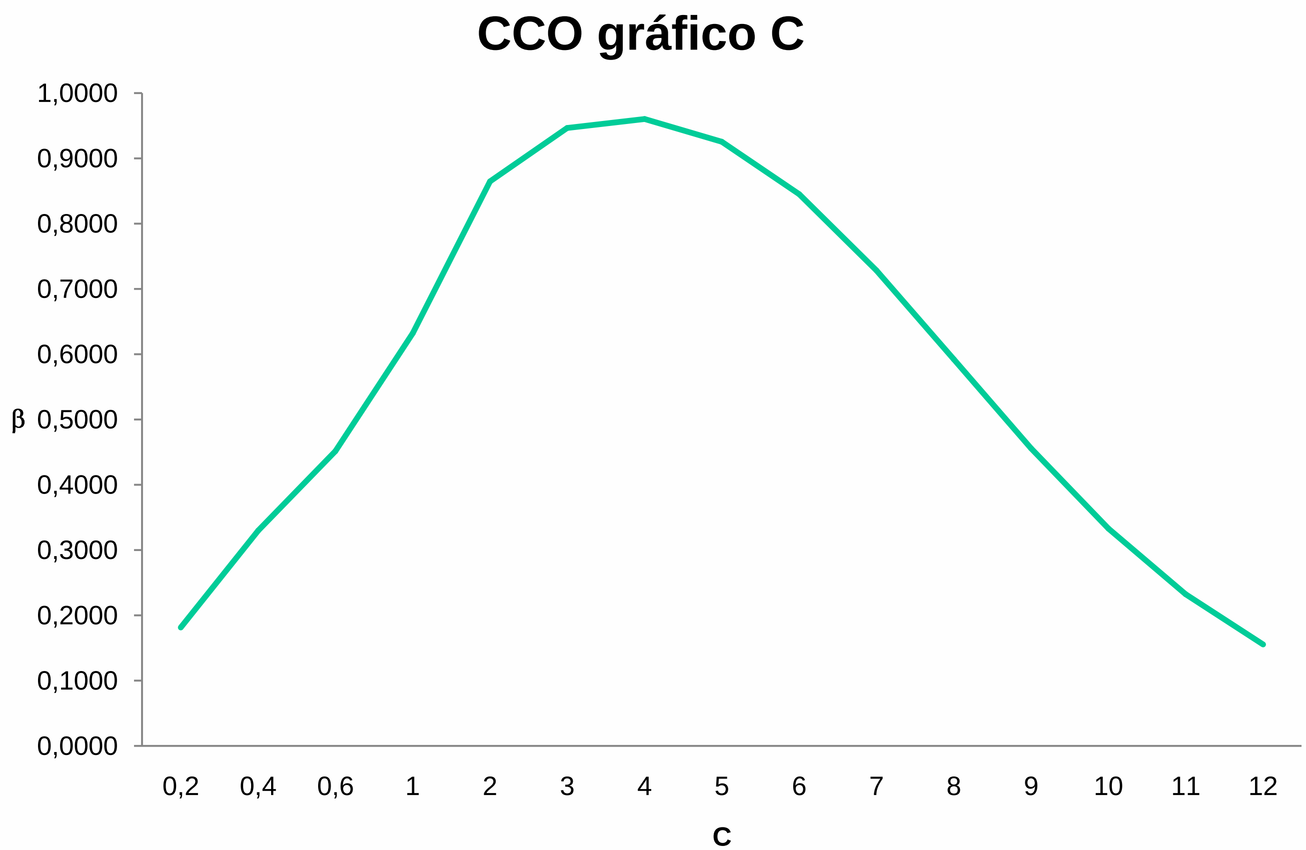


Gráfico de control U

El gráfico U es usado en dos situaciones:

Principalmente cuando el tamaño de la muestra es variable

Opcionalmente cuando el tamaño de la muestra es fijo pero mayor a una unidad de inspección.

Gráfico de control U

Tamaño de la muestra fijo pero mayor a una unidad de inspección.

Sea U el promedio de defectos por unidad de inspección

$$U = \frac{D}{n}$$

donde D Es el número de defectos en las n unidades de inspección contenidas en la muestra

$$D \sim P(\overline{D})$$

con $$\overline{D} = \frac{\sum_{i=1}^{m} D_i}{m}$$

donde

D_i Es el número de defectos en la i-ésima muestra

m Número de muestras

Gráfico de control U

Tamaño de la muestra fijo pero mayor a una unidad de inspección.

Por lo tanto,

$$E(U)=E\left(\frac{D}{n}\right)=\frac{1}{n}E(D)=\frac{1}{n}\overline{D}=\overline{U}$$

$$Var(U)=Var\left(\frac{D}{n}\right)=\frac{1}{n^2}Var(D)=\frac{1}{n^2}\overline{D}=\frac{\overline{U}}{n}$$

Entonces, los límites de control son:

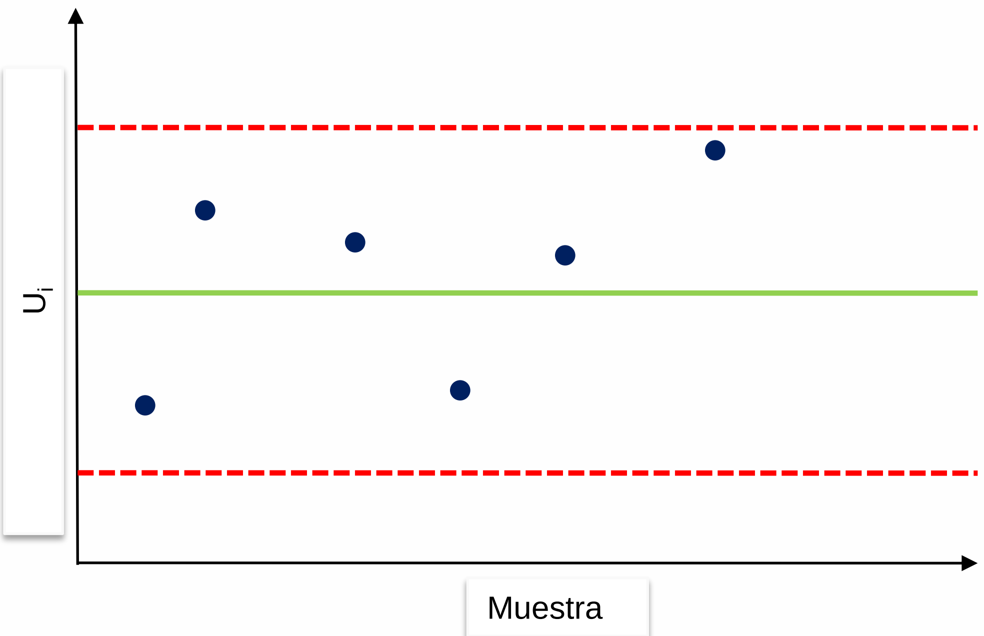
$$LIC=\overline{U}-3\sqrt{\frac{\overline{U}}{n}}$$

$$LC=\overline{U}$$

$$LSC=\overline{U}+3\sqrt{\frac{\overline{U}}{n}}$$

Gráfico de control U

Tamaño de la muestra fijo pero mayor a una unidad de inspección.



$$LSC = \overline{U} + 3\sqrt{\frac{\overline{U}}{n}}$$

$$LC = \overline{U}$$

$$LIC = \overline{U} - 3\sqrt{\frac{\overline{U}}{n}}$$

Ejemplo…

Muestra	n	D_i	U_i
1	2	4	2
2	2	3	
3	2	5	
4	2	1	
5	2	2	
6	2	2	
7	2	2	
8	2	6	
9	2	5	
10	2	2	
11	2	3	
12	2	1	
13	2	2	
14	2	4	
15	2	3	
16	2	5	
17	2	5	
18	2	4	
19	2	3	
20	2	3	

$$U_1 = \frac{D_1}{n} = \frac{4}{2} = 2$$

$$\overline{D} = \frac{\sum_{i=1}^{m} D_i}{m} = \frac{65}{20} = 3{,}25$$

$$\overline{U} = \frac{\overline{D}}{n} = \frac{3{,}25}{2} = 1{,}625$$

$$LIC = \overline{U} - 3\sqrt{\frac{\overline{U}}{n}} = 1{,}625 - 3\sqrt{\frac{1{,}625}{2}} = 0$$

$$LSC = \overline{U} + 3\sqrt{\frac{\overline{U}}{n}} = 1{,}625 + 3\sqrt{\frac{1{,}625}{2}} = 4{,}329$$

Gráfico de control U

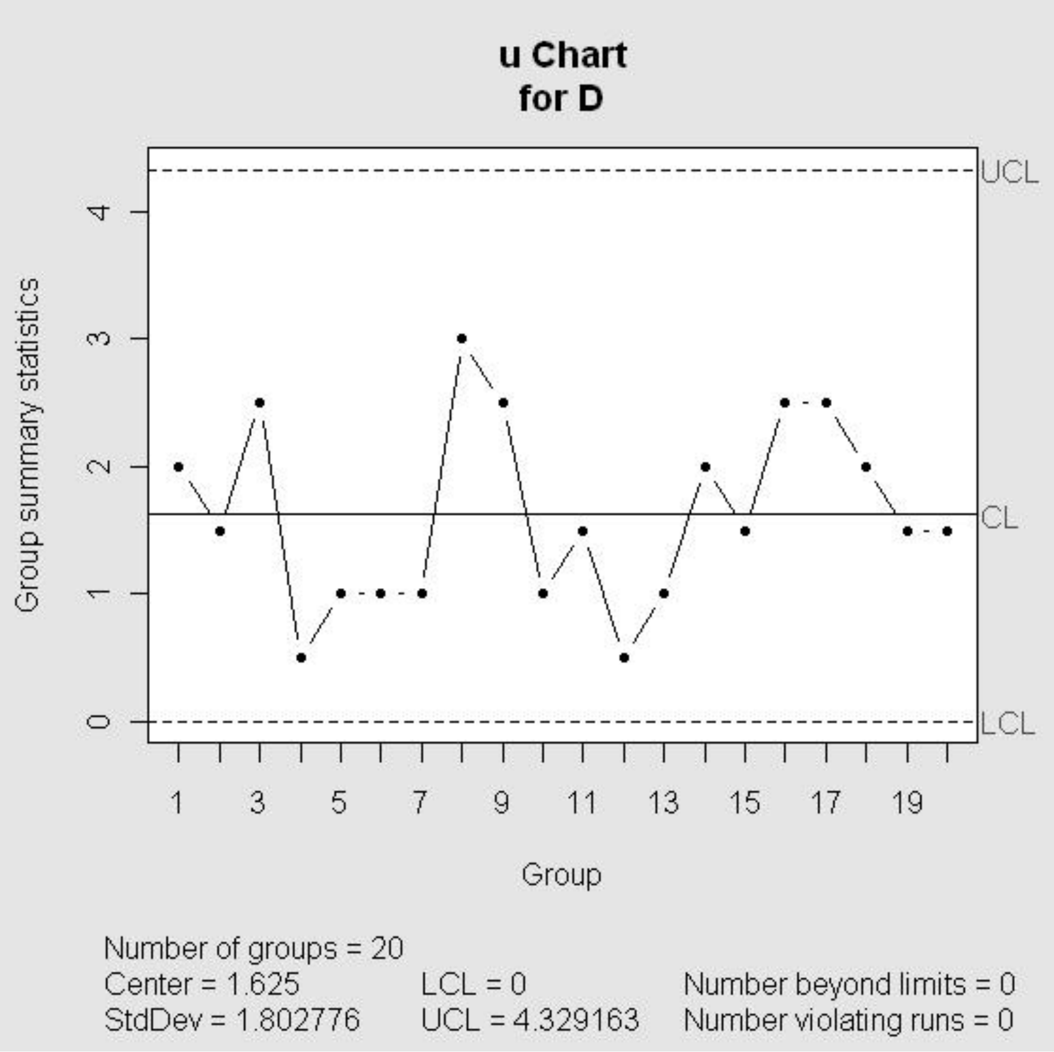


Gráfico de Control.

Gráfico de control U

Tamaño de muestra variable.

En este caso el promedio de defectos por unidad de inspección en este caso depende de n_i, por lo tanto

$$U_i = \frac{D}{n_i}$$

donde D Es el número de defectos en las n unidades de inspección contenidas en la muestra

$$\overline{D} = \frac{\sum_{i=1}^{m} D_i}{m}$$

$$D \sim P(\overline{D})$$

donde D_i Es el número de defectos en la i-ésima muestra

m Número de muestras

Gráfico de control U

Tamaño de muestra variable.

Entonces, los límites de control son:

$$LIC = \overline{U} - 3\sqrt{\frac{\overline{U}}{n}}$$

$$LC = \overline{U}$$

$$LSC = \overline{U} + 3\sqrt{\frac{\overline{U}}{n}}$$

donde

$$\overline{U} = \frac{\sum_{i=1}^{m} D_i}{\sum_{i=1}^{m} n_i}$$

Tamaño de muestra variable.

Ejemplo…

Muestra	n	D_i	U_i	LIC	LSC
1	3	6	2	0	4,939
2	2	3			
3	2	5			
4	4	2			
5	3	3			
6	2	2			
7	1	1			
8	1	3			
9	2	6			
10	2,5	5			
11	1,5	3			
12	2	1			
13	3	3			
14	5	10			
15	2	4			
16	3	5			
17	2	5			
18	2	4			
19	0,5	1			
20	3,5	9			

$$U_1 = \frac{D_1}{n} = \frac{4}{2} = 2$$

$$\overline{U} = \frac{\sum_{i=1}^{m} D_i}{\sum_{i=1}^{m} n_i} = \frac{81}{47} = 1,7235$$

$$LIC = \overline{U} - 3\sqrt{\frac{\overline{U}}{n_1}} = 1,7234 - 3\sqrt{\frac{1,7234}{3}} = 0$$

$$LSC = \overline{U} + 3\sqrt{\frac{\overline{U}}{n_1}} = 1,7234 + 3\sqrt{\frac{1,7234}{3}} = 4,939$$

Tamaño de muestra variable.

Ejemplo…

Muestra	n	D_i	U_i	LIC	LSC
1	3	6	2,00	0	3,9972
2	2	3	1,50	0	4,5082
3	2	5	2,50	0	4,5082
4	4	2	0,50	0	3,6926
5	3	3	1,00	0	3,9972
6	2	2	1,00	0	4,5082
7	1	1	1,00	0	5,6618
8	1	3	3,00	0	5,6618
9	2	6	3,00	0	4,5082
10	2,5	5	2,00	0	4,2142
11	1,5	3	2,00	0	4,9391
12	2	1	0,50	0	4,5082
13	3	3	1,00	0	3,9972
14	5	10	2,00	0	3,4847
15	2	4	2,00	0	4,5082
16	3	5	1,67	0	3,9972
17	2	5	2,50	0	4,5082
18	2	4	2,00	0	4,5082
19	0,5	1	2,00	0	7,2931
20	3,5	9	2,57	0	3,8285

Tamaño de muestra variable.

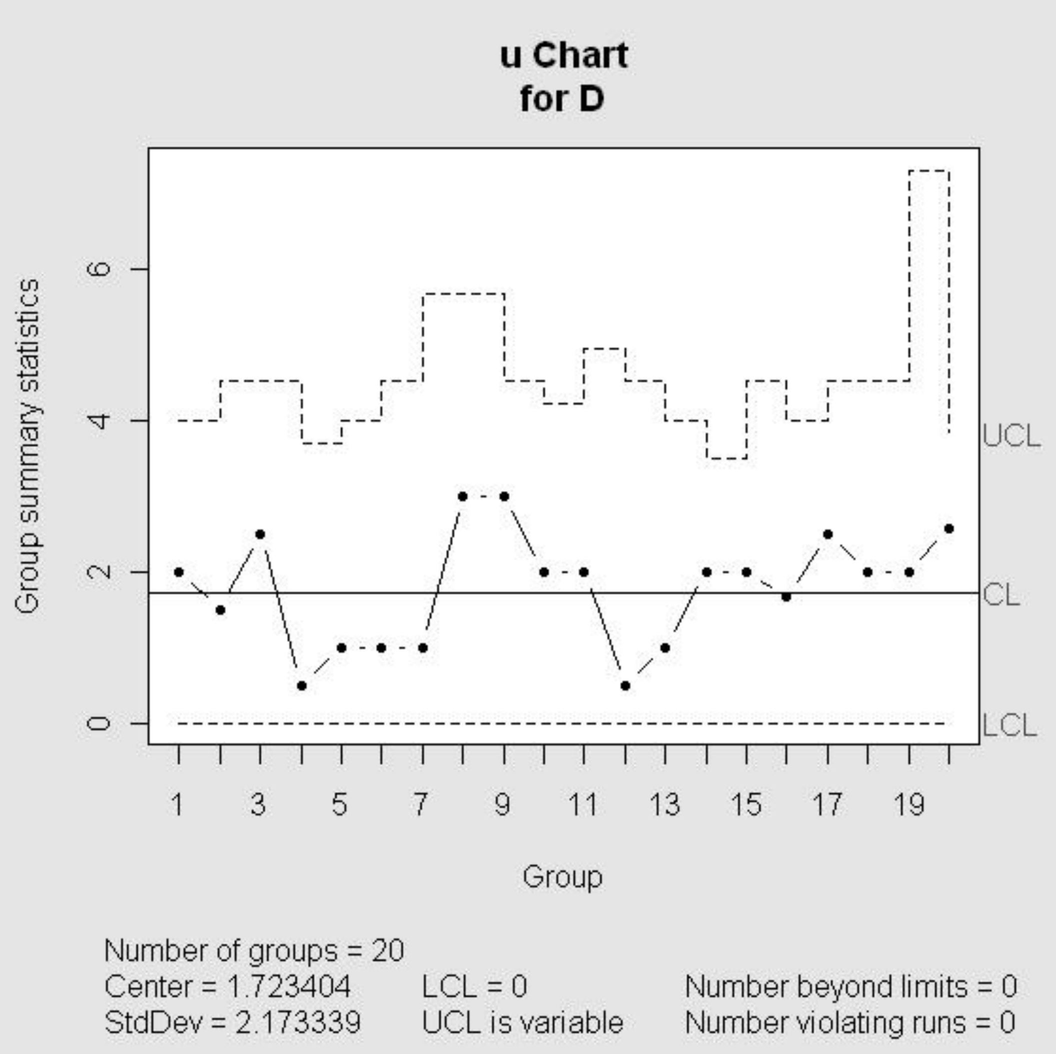


Gráfico de Control.

Gráfico de control U

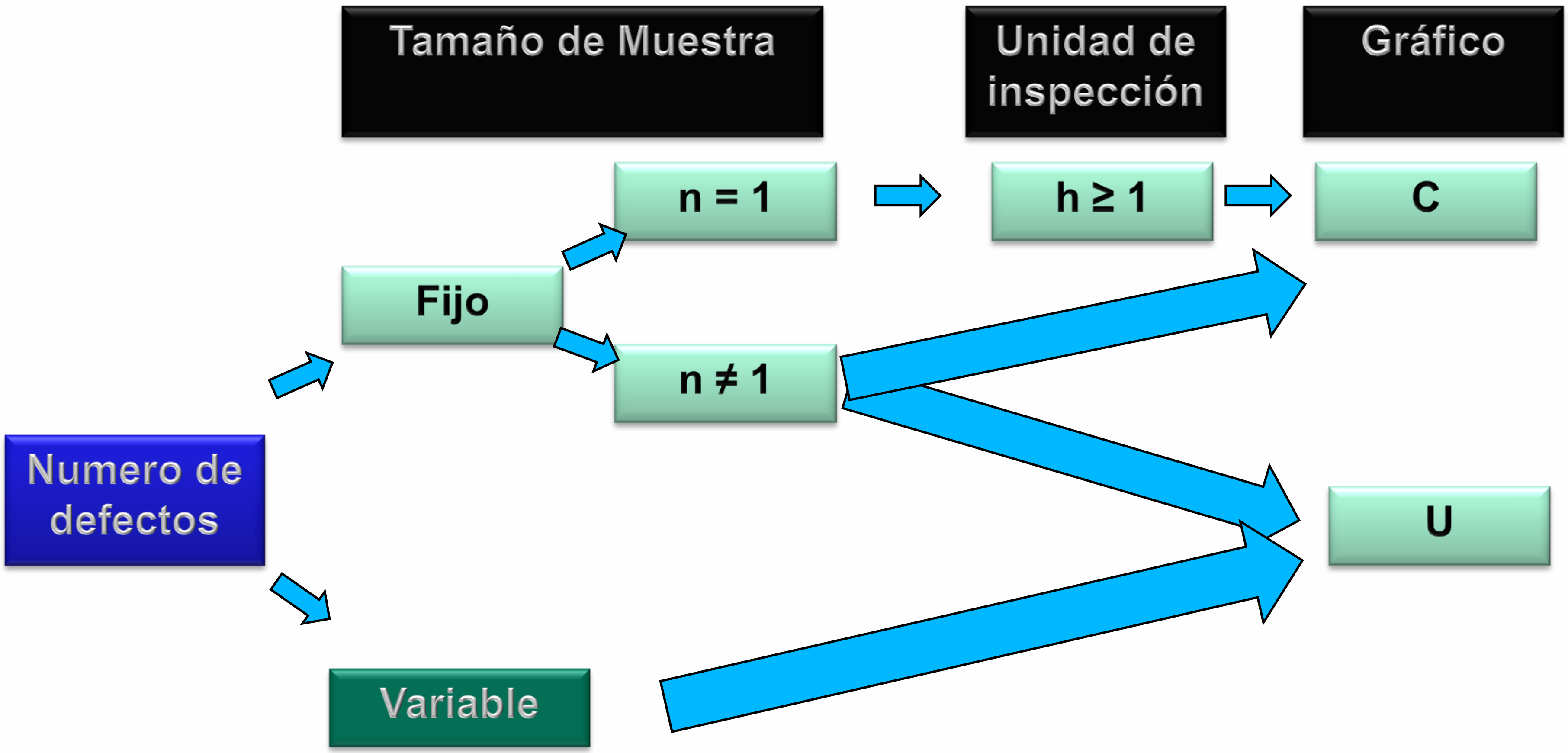


Gráfico de control U

Por ejemplo

Si la unidad de inspección se define como cien unidades del producto

1. Tamaño de muestra fijo, igual a una unidad de inspección. $n = 1h = 100$ unidades del producto — **Gráfico C**
2. Tamaño de muestra fijo, igual a tres unidades de inspección. $n = 3h = 300$ unidades del producto
3. Tamaño de muestra fijo, igual a una unidad y media de inspección. $n = 1,5h = 150$ unidades del producto
4. Tamaño de muestra fijo, igual a media unidad de inspección. $n = 0,5h = 50$ unidades del producto

Gráfico C

Gráfico U

5. Tamaño de muestra variable, $n_i = k_i h$; $i = 1,2,3,\ldots,m$. Si $k_1 = 2$ y $k_2 = 2,5$, entonces $n_1 = 2h = 200$ y $n_2 = 2,5h = 250$ unidades del producto — **Gráfico U**

Gráfico de control C Ajustado

En los casos donde el tamaño de muestra sea fijo pero mayor a una unidad de inspección se redefine la unidad de inspección, igual al número de unidades del producto que están incluidas en las n unidades de inspección previamente definidas, es decir

$$h' = nh \quad \Rightarrow \quad n = 1$$

Luego se ajusta la media a la nueva unidad de inspección,

$$\overline{C}' = n\overline{C}$$

Obteniéndose los siguientes límites de control

$$LIC = n\overline{C} - 3\sqrt{n\overline{C}}$$

$$LC = n\overline{C}$$

$$LSC = n\overline{C} + 3\sqrt{n\overline{C}}$$

Gráfico de control C

Ejemplo

Consideremos que en el ejemplo de las botellas en vez de tomar en cada muestra una unidad de inspección (2 botellas), tomamos 2 unidades de inspección (4 botellas).

$$n\overline{C} = 2(3{,}25) = 6{,}5$$

$$LIC = n\overline{C} - 3\sqrt{n\overline{C}} = 6{,}5 - 3\sqrt{6{,}5} = 0$$

$$LC = n\overline{C} = 6{,}5$$

$$LSC = n\overline{C} + 3\sqrt{n\overline{C}} = 6{,}5 + 3\sqrt{6{,}5} = 14{,}15$$

Función Característica de Operación

$$\beta = P(LIC < U < LSC/\lambda)$$
$$= P(U < LSC/\lambda) - P(U \leq LIC/\lambda)$$
$$= P\left(\frac{D}{n} < LSC/\lambda\right) - P\left(\frac{D}{n} \leq LIC/\lambda\right)$$
$$= P[D < nLSC/\lambda] - P[D \leq nLIC/\lambda]$$

Ejemplo.

Construir la curva característica de operación, para el ejemplo del gráfico U

$$\beta = P[D < nLSC/\lambda] - P[D \leq nLIC/\lambda]$$
$$= P[D < 2(4{,}329)/\lambda] - P[D \leq 2(0)/\lambda]$$
$$= P[D < 8{,}658/\lambda] - P[D = 0/\lambda]$$
$$= P[D \leq 8/\lambda] - P[D = 0/\lambda]$$

Para λ=4

$$\beta = P(X \leq 8/4) - P(X = 0/4)$$
$$= 0{,}9782 - 0{,}0183 = 0{,}9603$$

Función característica de operación.

Ejemplo.

Construir la curva característica de operación, para el siguiente gráfico de control

$$LIC = 0{,}065 \quad LSC = 0{,}252 \qquad n = 50$$

$$\beta = P(D < nLSC) - P(D \leq nLIC)$$

$$\beta = P(D < 50(0{,}252)/P) - P(D \leq 50(0{,}065)/P)$$

$$\beta = P(D < 12{,}6/P) - P(D \leq 3{,}25/P)$$

Para P=0,10.

$$\beta = P(D \leq 12/P = 0{,}10) - P(D \leq 3/P = 0{,}10)$$

$$= 0.9990 - 0{,}2503 = 0{,}7487$$

C	$P(X \leq 8/C)$	$P(X = 0/C)$	$\beta = P(X \leq 8/C) - P(X = 0/C)$
0,2	1,0000	0,8187	0,1813
0,4	1,0000	0,6703	0,3297
0,6	1,0000	0,5488	0,4512
1	1,0000	0,3679	0,6321
2	0,9998	0,1353	0,8644
3	0,9962	0,0498	0,9464
4	0,9786	0,0183	0,9603
5	0,9319	0,0067	0,9252
6	0,8472	0,0025	0,8448
7	0,7291	0,0009	0,7282
8	0,5925	0,0003	0,5922
9	0,4557	0,0001	0,4555
10	0,3328	0,0000	0,3328
11	0,2320	0,0000	0,2320
12	0,1550	0,0000	0,1550

Función característica de operación.